

# 累積パワー規準に基づく地震動継続時間に対応する等価振幅レベルに関する考察

岐阜大学工学部 学生会員 ○高島拓也

岐阜大学工学部 正会員 能島暢呂

## 1. 研究の目的

地震動の物理的特性は、振幅特性、周期特性、継続時間の3要素によって特徴づけられる。振幅レベルが同じ場合、継続時間が長い方が構造物や人間行動により大きな影響を与える可能性が高く、その評価は重要である。継続時間の定義としては、加速度波形の累積パワー曲線における5~95%あるいは5~75%の占有時間(Significant duration)がよく用いられる( $D_{5-95}$  および  $D_{5-75}$  とする)。しかしこれらの継続時間に対応する振幅レベルについては、必ずしも明らかにされていない。本研究では  $D_{5-95}$  および  $D_{5-75}$  と等価な振幅レベルを求めることを目的とする。

## 2. 継続時間と等価閾値震度の計測例

本研究では時刻歴波形として、計測震度算出用フィルターをかけた3成分のベクトル合成波形  $a_0(t)$  を用いる。その累積パワー曲線の例を図1下部に示す。この例では、 $D_{5-95}$  および  $D_{5-75}$  はそれぞれ85秒、53秒となり、 $D_{5-75}$  は定義より  $D_{5-95}$  よりも短くなる。これらと等価な振幅レベルを求めるため、ベクトル合成波形  $a_0(t)$  に基づいてリアルタイム震度を算出する(図1上段)。以下では、2種類の継続時間を定義し、 $D_{5-95}$  および  $D_{5-75}$  と等価な継続時間を与える振幅レベルを「等価閾値震度」として求める。

一つは所定の閾値震度を超過する正味の時間を計測した継続時間  $D_U$  (Uniform)である。図1上段に示すように、上記の継続時間  $D_{5-95}$  および  $D_{5-75}$  秒に相当する等価閾値震度は  $I_{eq_{5-95U}}=4.65$  および  $I_{eq_{5-75U}}=5.05$  と求められ、前者は後者より低い。もう一つは、閾値震度を最初に上回ってから最後に下回るまでの継続時間  $D_B$  (Bracketed)であり、定義より  $D_U$  よりも長くなる。図示は省略するが、 $D_{5-95}$  および  $D_{5-75}$  に相当する等価閾値震度は  $I_{eq_{5-95B}}=5.55$  および  $I_{eq_{5-75B}}=5.99$  と求められ、 $D_U$  に基づく結果よりも高くなる。

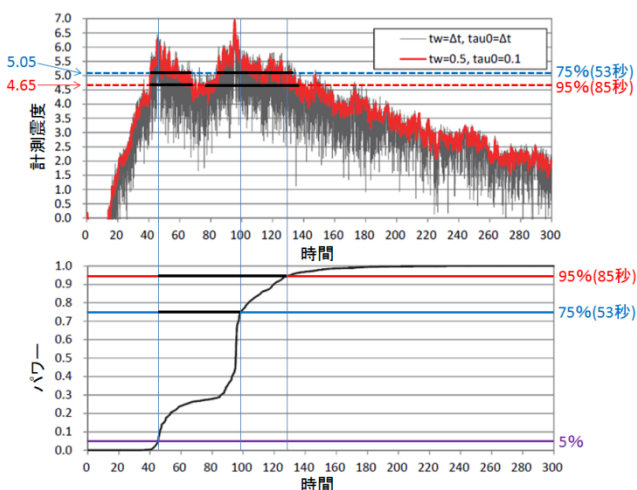


図1 継続時間と等価閾値震度の算出例 (MYG004)

## 3. 既往35地震を対象とした継続時間 $D_{95-5}$ , $D_{5-75}$ , $D_U$ , $D_B$ の計測と等価閾値震度の算出

本研究では既往研究<sup>1)</sup>と同じく、1996~2013年の期間に震度6弱以上の揺れを記録した39地震のうち、島しょ部で起きた6地震を除外した33地震に、紀伊半島沖地震と東海道沖地震の2地震を追加した35地震を対象地震とした。K-NETにより観測された約10000記録の加速度データについて分析を行った。まず  $D_{5-95}$  および  $D_{5-75}$  を全記録について比較した結果を図2に示す。ばらつきは大きいですが、原点を通る回帰式を求めた結果、次式が得られた。

$$D_{5-75} = 0.54D_{5-95}$$

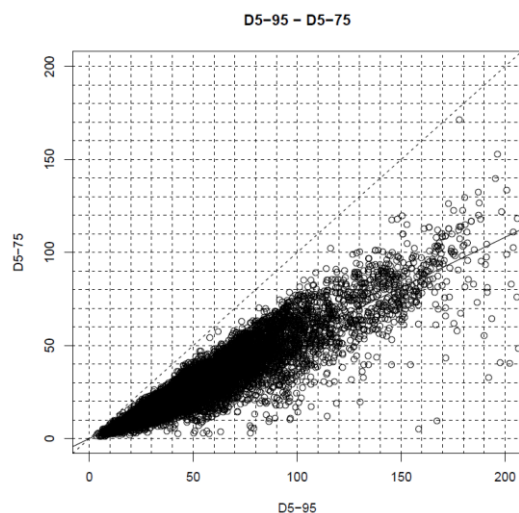


図2  $D_{5-95}$  (横軸) と  $D_{5-75}$  (縦軸) との比較

次に、等価閾値震度  $I_{eq_{5-95}}$  および  $I_{eq_{5-75}}$  と計測震度  $I$  との関係を考察する。図3と図4はそれぞれ  $D_U$  と  $D_B$  を用いた結果である。いずれも計測震度より低い値となるが、その傾向を計測震度  $I$  の位置次式で回帰した結果、次式が得られた。

$$I_{eq_{5-95U}} = -1.208 + 0.9222 I$$

$$I_{eq_{5-75U}} = -0.872 + 1.0003 I$$

$$I_{eq_{5-95B}} = -0.771 + 0.9321 I$$

$$I_{eq_{5-75B}} = -0.460 + 0.9977 I$$

以上の式においては、 $I$ の係数は極めて1に近い値となっており、震度依存性が小さいことがわかる。そこで震度差  $I - I_{eq}$  の平均値は上記順に1.43, 0.87, 0.95, 0.47 (標準偏差は上記順に0.22, 0.19, 0.21, 0.16)と求められた。 $D_{5-95}$  は計測震度から1.43ないし0.95低い振幅レベル、 $D_{5-75}$  は0.87ないし0.47低い振幅レベルに相当することを意味する。これは累積パワー規準に基づく継続時間の振幅レベルに関する目安となろう。ただしばらつきも大きく、継続時間の長短を議論する際には、等価となる振幅レベルを明示することが望ましいといえる。

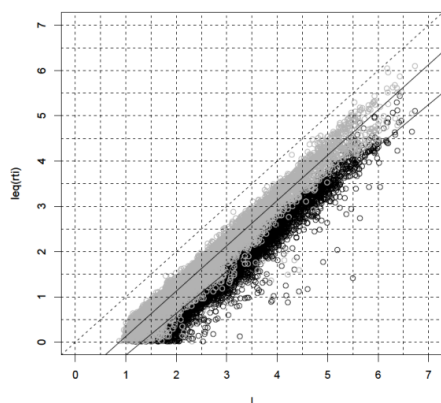


図3  $D_U$ に基づく等価閾値震度と計測震度との比較  
(上から  $D_{5.75}$  および  $D_{5.95}$  に等価)

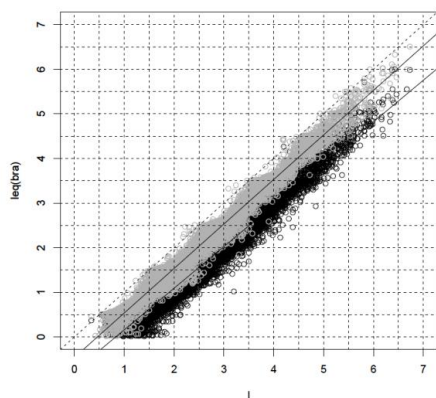


図4  $D_B$ に基づく等価閾値震度と計測震度との比較  
(上から  $D_{5.75}$  および  $D_{5.95}$  に等価)

#### 4. トータルパワーと継続時間との関係

地震動時刻歴の自乗累積値として定義されるトータルパワーは、振幅特性と継続時間特性の双方を反映した指標となる。本研究では  $a_0(t)$  の自乗累積値でトータルパワー  $P_T$  を算出した。 $P_T$  と  $D_{5.95}$  および  $D_{5.75}$  との関係を図5に示す。図左下の領域は  $P_T$  が小さくかつ継続時間が短い記録は遠方の観測点に多い。また  $P_T$  が極めて大きな記録は東北地方太平洋沖地震の記録が多いが、継続時間の長さにはかなりの相違がある。同じトータルパワーのもとでは、継続時間が長ければパワーが分散され、短ければパワーが集中していること表している。

#### 5. 東北地方太平洋沖地震における指標の分布特性

東北地方太平洋沖地震の強震記録により求められた諸指標の分布を図6に示す。 $D_{5.95}$  については、日本海側では極めて長く、太平洋側では相対的に短い傾向を示しており、震度とはほぼ逆転した関係となっている。太平洋側に注目すると、宮城で長く、岩手、福島がこれに次ぎ、茨城では最短となっている。震源過程における数個の強震動生成域と観測点の位置関係から決まるディレクティビティの影響と考えられる。 $D_{5.75}$  はより短い  $D_{5.95}$  とほぼ同様の傾向を示す。 $I-Ieq_{5.95U}$  の分布特性には明確な特徴は見られないが、震度差が1.6以上は太平洋側に集中し、1.8以上は宮城県に集中している。

また  $P_T$  の分布は  $I$  の分布に類似しているが、細部は異なっている。ほぼ同等の  $P_T$  を示した二地点の

K-net 観測点 (IBR003 と MYG015) については、NS成分の加速度波形も示している。IBR003 では最大加速度が 1598gal とかなり大きい  $D_{5.95}=22$  秒、 $D_{5.75}=5$  秒と継続時間は短く、エネルギーが集中している。一方 MYG015 では最大加速度は 410gal、 $D_{5.95}=115$  秒、 $D_{5.75}=75$  秒と継続時間は長く、エネルギーが分散している。

今後、各地震の個々の強震記録の詳しい分析に基づいて、指標間の関係について、さらに考察を進める方針である。

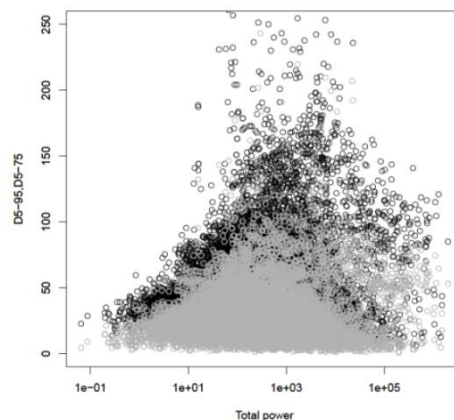


図5  $P_T$  と  $D_{5.95}$  および  $D_{5.75}$  の関係

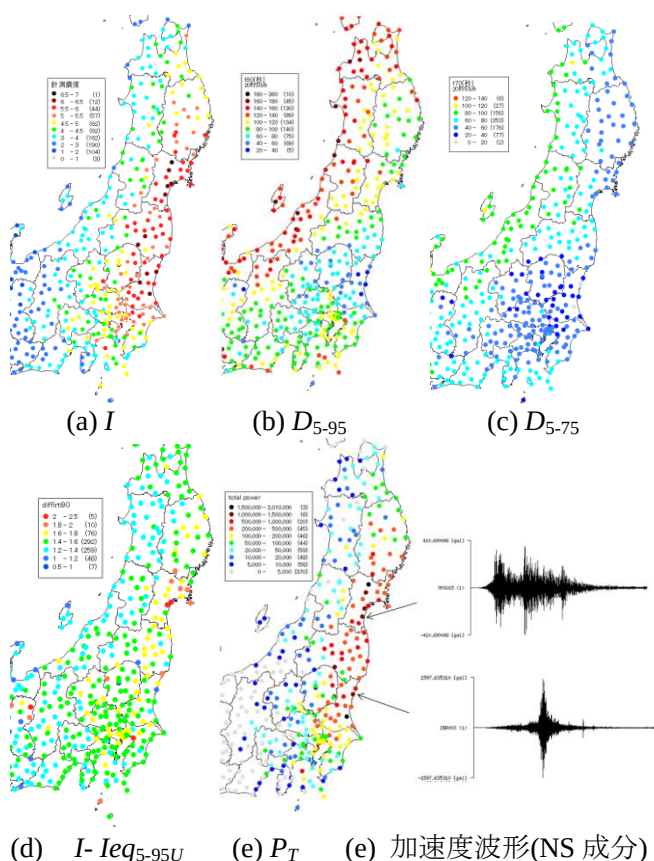


図6 東北地方太平洋沖地震に関する諸指標の分布

#### 参考文献

- 1) 能島暢呂：観測震度または予測震度を与件とする震度継続時間の条件付予測式，日本地震工学会論文集，第14巻，第5号，pp.50-67，2014.11.